

**РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ
И ПОВРЕЖДЕННОСТЬЮ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ**

В.А. Туркова

Научный руководитель: профессор, д.ф-м.н. Л.В. Степанова

АО «РКЦ «Прогресс»,

Россия, г. Самара, ул. Земеца, 18, 443009

E-mail: turkovava@samsu.ru

Многие элементы конструкций в реальных условиях функционируют за пределом упругости, в условиях пластического течения и ползучести. Известно, что для таких конструкций, подверженных действию периодического нагружения, реализуются три различных типа асимптотического поведения: приспособляемость, когда конструкция ведет себя упругим образом после большого числа циклов нагружения; циклическая пластичность, когда реализуется пластическая деформация разных знаков; и рэтчетинг – явление накопления пластических деформаций с течением времени, ведущих к разрушению конструкции [1].

При проектировании безопасным режимом считается приспособляемость, рэтчетинга же следует избегать. В связи с этим обстоятельством, потребность в знании асимптотического поведения неупругого тела после большого числа циклов нагружения на ранних стадиях проектирования является актуальной [2].

В рамках настоящей работы осуществляется пошаговое нагружение упругопластической пластины с отверстиями разных конфигураций с целью выявления различных асимптотических режимов поведения и определения нагрузок, ведущих к реализации режимов приспособляемости, циклической пластичности и рэтчетинга. Реализация и исследование асимптотических режимов (в целях относительной простоты и быстроты расчетов и возможности проверки полученных результатов теорией) проводятся на примере простой конструкции – квадратной пластины с центральным отверстием двух конфигураций: эллиптическим и круглым. Рассмотрим случаи, когда пластина выполнена из меди, различной по своим механическим свойствам (3 варианта). Пластина подвержена действию двухосной нагрузки, причем по одной из осей она циклическая. Рассматриваемое нагружение описывается соотношениями: $P_x = k_1 \sigma_y$, $P_y(t) = k_2 \sigma_y \sin^2(\pi t/T)$, где σ_y – предел пропорциональности материала; k_1, k_2 – коэффициенты пропорциональности, позволяющие варьировать амплитуду приложенной нагрузки.

Была проведена серия расчетов асимптотического состояния конструкции, где коэффициенты пропорциональности величины приложенной нагрузки (k_1, k_2) варьировались в диапазоне от 0.5 до 1.3. Величина приложенной нагрузки (P_x, P_y) по осям изменялась от 300 кН/м² до 750 кН/м² в различном соотношении.

В результате изменения величины нагрузки для исследуемой упругопластической пластины были выявлены все три возможных асимптотических режима поведения и определены нагрузки и их соотношение по осям x и y , ведущие к смене режима работы конструкции.

Полученные в результате проведенных конечно-элементных расчетов данные были обобщены и оформлены в виде диаграммы, на которой определены области нагрузок для трех материалов, соответствующие тому или иному типу асимптотического поведения пластины. Тип поведения всей конструкции определялся по типу поведения наиболее деформированного элемента пластины. Положение элемента варьировалось в зависимости от конкретного варианта приложенной нагрузки. Данная диаграмма (рисунок 1а) позволяет определить для конструкции те величины нагрузок, при которых ее работа будет безопасной, то есть будет реализовываться режим приспособляемости, и, тем самым, избежать опасных режимов работы.

Для разных материалов пределы приспособляемости, знакопеременной пластичности и прогрессирующего пластического течения различны, но качественная картина областей является подобной для всех трех рассмотренных материалов. Пользуясь данным наблюдением, можно ввести в рассмотрение безразмерные параметры: $\pi_1 = P_1/\sigma_B$, $\pi_2 = P_2/\sigma_B$ и построить диаграммы P_1 и P_2 на плоскости π_1, π_2 для всех трех материалов. Результаты изображены на рисунке 1б.

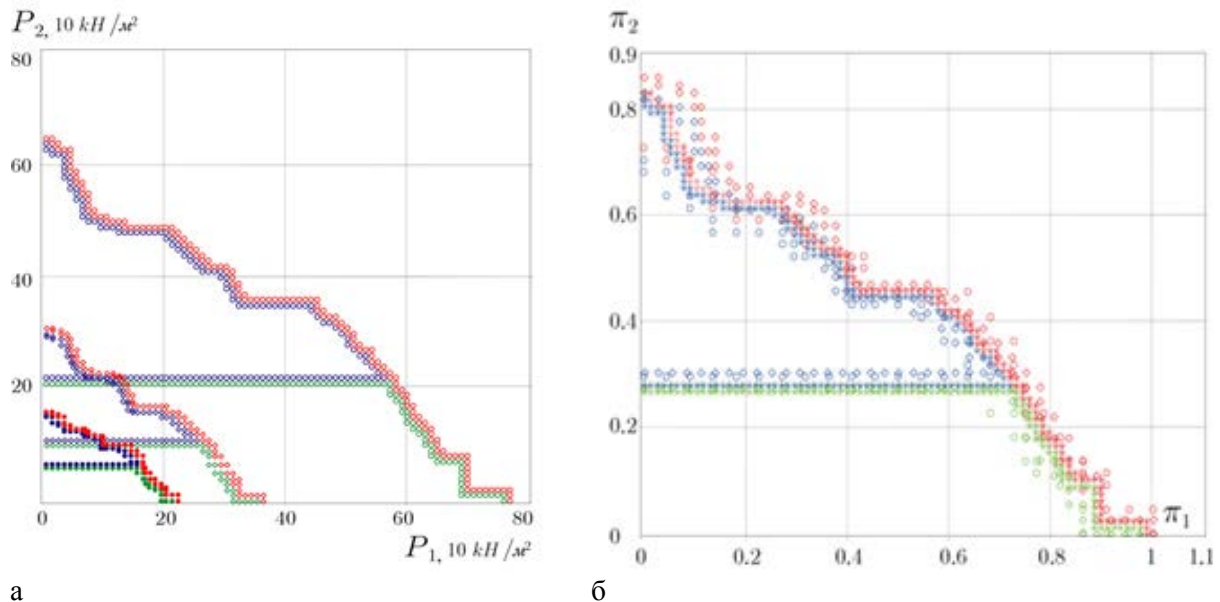


Рис. 1. Результаты численного анализа: а - диаграмма областей нагрузок, отвечающих различным режимам асимптотического поведения пластины; б - обобщенная диаграмма областей нагрузок, отвечающих различным режимам асимптотического поведения пластины. Красным цветом обозначены пределы значений нагрузок для рэтчетинга, синим – циклической пластичности и зеленым – приспособляемости.

Видно, что все кривые, обозначающие границы областей асимптотических состояний, совпадают и ложатся на единую кривую. В координатах π_1, π_2 все расчетные точки, полученные в ходе вычислительного эксперимента, легли на единую кривую.

Таким образом, проведенный вычислительный эксперимент обнаружил независимость характерных областей на диаграмме от механических свойств материалов [3]. Следовательно, нет необходимости проводить многочисленные расчеты для каждого отдельно выбранного материала. За счет выбранной нормировки все вычислительные диаграммы, соответствующие отдельным материалам, укладываются в одну общую кривую с минимальным разбросом точек. Удобство обобщенной диаграммы заключается в возможности получения асимптотического поведения неупругой конструкции для материалов, для которых не производились объемные компьютерные вычисления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stolz C. Optimal control approach in nonlinear mechanics// C.R. Mecanique. –2008. – № 1-2. – 238-244 с.
2. Vetyukov Y. Nonlinear mechanics of Thin-walled structures. Asymptotics, direct approach and numerical analysis. – Berlin: Springer, 2014. – 272 с.
3. Туркова В.А., Степанова Л.В. Различные режимы циклического нагружения неупругой пластины: конечно-элементный анализ двухосного нагружения упругопластической пластины с эллиптическим вырезом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – №3, 207-221 с.